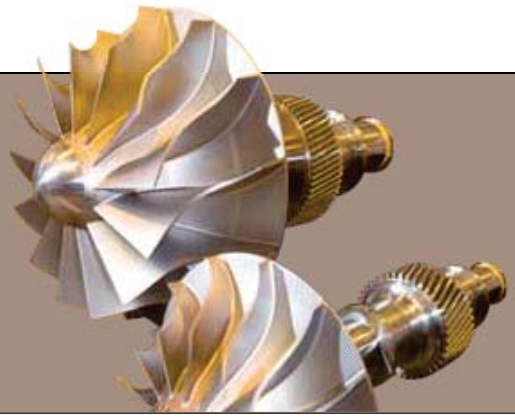


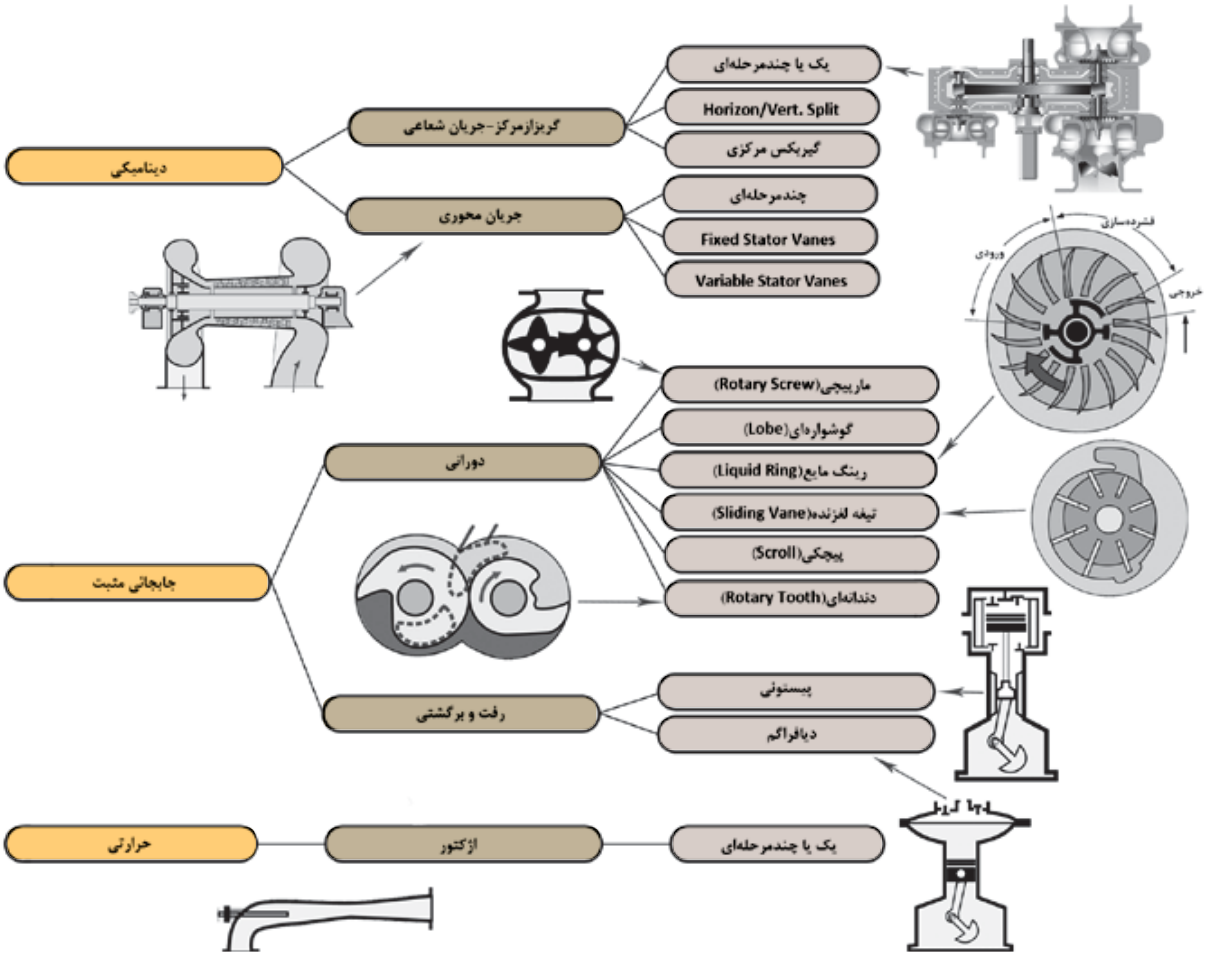
فشرده‌سازی گازطبیعی

نویسنده: مهندس صفار

اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

غالباً فاصله چاه‌های گازطبیعی تا مناطق مسکونی یا صنعتی، زیاد می‌باشد. از سوی دیگر در حال حاضر بخش عمده‌ای از گازطبیعی استخراج شده، به عنوان سوخت مصرف می‌شود. انتقال اقتصادی و ایمن این سوخت به مصرف‌کننده دارای اهمیت زیادی می‌باشد. برای اقتصادی شدن انتقال گازطبیعی، آن را فشرده یا مایع می‌کنند. فشرده نمودن گاز به صورت CNG و انتقال آن از طریق خطوط لوله از روش‌های اقتصادی و پرکاربرد می‌باشد، زیرا که با فشرده‌نمودن گاز، حجم بیشتری از آن ازطریق لوله منتقل می‌شود و تلفات ناشی از اصطکاک نیز کاهش می‌یابد، همچنین با توجه به افزایش فشار به تعداد کمتری ایستگاه تقویت فشار نیاز می‌باشد.

علیرغم ایمن بودن و محاسن ذکر شده برای فشرده نمودن و انتقال خط لوله، انتقال CNG با کشتی یا تانکر در حجم زیاد، روشی ایمن و مناسبی محسوب نمی‌گردد. فناوری مایع‌سازی[LNG] روشی جدیدتر، ایمن‌تر و اقتصادی است که حمل ازطریق کشتی یا تانکر را امکان‌پذیر می‌کند. علیرغم توسعه فناوری انتقال به صورت LNG اما همچنان استفاده از خطوط لوله CNG در مسافت‌های کمتر از ۲۵۰۰ کیلومتر و حجم گاز ۱/۵ تا ۶ میلیارد مترمکعب در سال اقتصادی بوده و کاربرد دارد. بیش از ۸۰ درصد حجم CNG و بیش از ۹۵ درصد از حجم LNG را گاز متان تشکیل می‌دهد و در پالایشگاه‌های گاز ترکیبات سنگین‌تر را برای استفاده در صنایع



شکل ۱: انواع کمپرسور

پتروشیمی و تولیدسوخت‌های مایع جدا می‌کنند. در واحدفشرده‌سازی گازطبیعی، از کمپرسور برای فشرده‌سازی گاز استفاده می‌شود. در این واحد علاوه بر کمپرسور از Drum برای جداسازی آب احتمالی[به میزان بسیارکم] و کولرهای هوایی برای خنک‌کردن گاز نیز استفاده می‌شود. در ادامه با توجه به اهمیت کمپرسور در این واحد به صورت مختصر این تجهیز را شرح می‌دهیم.

کمپرسور Compressor

کمپرسور یک تجهیز مکانیکی می‌باشد که با افزایش فشار وکاهش حجم سیال[درصورت تراکم‌پذیری سیال] کار انجام می‌دهد. کمپرسور مشابه پمپ عمل می‌کند، یعنی با افزایش فشار، سیال را ازطریق لوله منتقل می‌نمایند. در پتروشیمی، ذرات (Granular) پلاستیک توسط کمپرسورها منتقل می‌شوند، در پالایشگاه‌های گاز کمپرسورها، فشارموردنیاز فرایند را تامین می‌کنند. در خطوط انتقال گاز نیز کمپرسور وظیفه فشرده‌سازی و تامین فشار انتقال گاز را برعهده دارند. همچنین کمپرسورها تأمین هوای فشرده، خشک و تمیز موردنیاز سیستم کنترل و ابزاردقیق را نیز برعهده دارند. ازدیگر کاربردهای کمپرسور می‌توانیم به استفاده از آن در فرایند و انتقال نیتروژن، هیدروژن، گازکلر و دی‌اکسیدکربن ، اشاره کنیم.

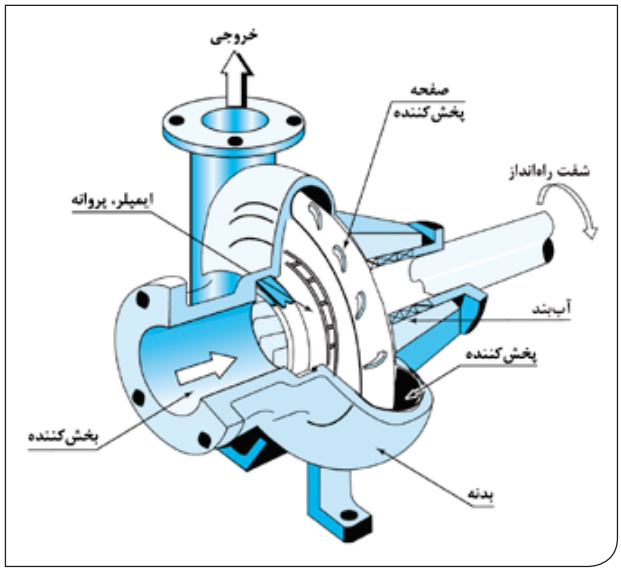
در یکی روش دسته‌بندی مشابه شکل ۱ می‌توانیم کمپرسورها را به سه دسته: دینامیکی، جابجایی مثبت و حرارتی تقسیم کنیم. کمپرسورهای دینامیکی شامل دونوع گریزازمرکز[جریان شعاعی] و محوری می‌باشند. در این نوع کمپرسور جریان سیال به داخل کشیده شده و توسط چرخش پروانه، سیال به طرف خروجی پرتاب می‌شود و در پخش‌کننده سرعت سیال به فشار تبدیل می‌شود. اما در کمپرسورجابجایی مثبت جریان سیال به داخل کمپرسور وارد شده و با کاهش حجم محفظه، سیال فشرده شده و فشار آن افزایش می‌یابد. در کمپرسورحرارتی، انژکتور جریان پرفشار گاز یا بخار را به داخل جریان فرایند تزریق می‌کند و درنهایت سرعت این جریان به فشاردر پخش‌کننده (Diffuser) تبدیل می‌شود.

هدف ما در این بخش معرفی کمپرسورهایی است که برای فشرده نمودن و افزایش فشار به منظور انتقال CNG کاربرد دارند. غالباً به دلیل حجم بالای گاز انتقالی و میزان فشردگی و فشار موردنیاز، کمپرسور مورداستفاده از نوع گریزازمرکز انتخاب می‌شود. به همین دلیل در ادامه این قسمت فقط به بررسی مختصر همین نوع کمپرسور و نحوه عملکرد آن در قسمت انتهایی پالایشگاه گاز و همچنین ایستگاه‌های تقویت فشارگاز می‌پردازیم.

۱» کمپرسور گریزازمرکز Centrifugal compressor

درکمپرسور گریزازمرکز، گاز از طریق بخش مکش (Suction part) وارد کمپرسور می‌شود و با حرکت پروانه (Impeller) شتاب می‌گیرد و به داخل پخش‌کننده (Diffuser) تخلیه می‌شود. با انتقال گازپرسرعت به پخش‌کننده، انرژی جنبشی به فشار تبدیل می‌شود. کمپرسورهای گریزازمرکز بیش ازکمپرسور رفت و برگشتی نسبت به چگالی و مشخصات سیال حساسیت دارند. بیشتر کمپرسورهای گریزازمرکز با سرعت بیش از ۳۰۰۰ دور در دقیقه کار می‌کنند. اخیراً با فناوری پیشرفته کمپرسورهایی با سرعت بیش از ۴۰،۰۰۰ دور در دقیق نیز ساخته شده‌اند.

کمپرسورهای گریزازمرکز در دو نوع یک مرحله‌ای[طبقه] و چندمرحله‌ای ساخته می‌شوند. در نوع چندمرحله‌ای خروجی مرحله اول به بخش مکش مرحله دوم متصل می‌باشد. از کمپرسورهای یک طبقه برای انتقال حجم زیادگاز با فشار خروجی کم و از کمپرسورهای چندطبقه برای حجم زیادگاز با فشارخروجی زیاد استفاده می‌شود. علاوه بر سرعت و تعداد مراحل[طبقات] که در فشار، مقدارجریان(Flow rate) و بازده تاثیردارند؛ طراحی کمپرسور و شکل پروانه نیز بسیارمهم وتاثیرگذار می‌باشد. شرکت‌های مختلف با توجه به تجربه و دانش‌فنی،

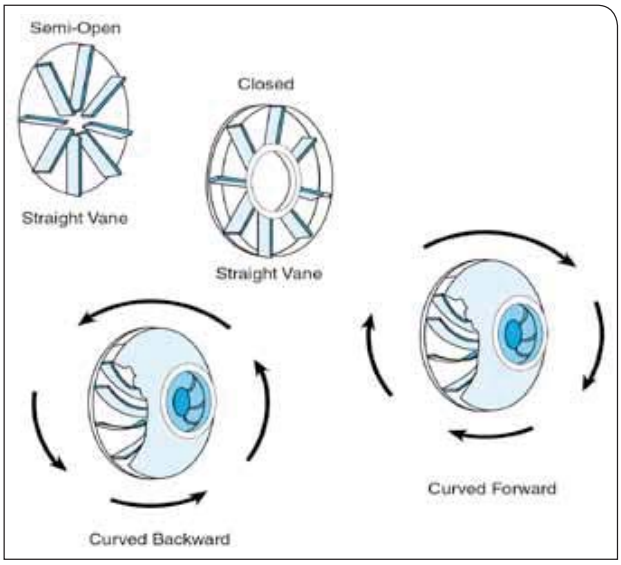


شکل ۲: کمپرسورگریز از مرکز یک مرحله‌ای[یک طبقه]

انواع مختلفی از کمپرسورهای گریزازمرکز را ارائه نموده‌اند که هرکدام دارای ویژگی خاص خود می‌باشند. در شکل ۲ یک کمپرسور یک طبقه را مشاهده می‌کنید.

۲» نسبت تراکم Compression Ratio

نسبت فشارخروجی(psia) به فشار ورودی(psia) را نسبت تراکم می‌گویند. این نسبت در بیشتر موارد می‌تواند عددی بیش از ۱۰۰ باشد. با افزایش فشار گاز، دمای گاز نیز افزایش پیدا می‌کند. در صورت افزایش ۱۰۰ برابری فشارگاز در یک مرحله، گاز به میزان بسیار زیادی گرم می‌شود. برای افزایش ایمن فشار گاز از کمپرسورهای چندمرحله‌ای و با خنک‌کننده بین هر مرحله استفاده می‌کنند. به عنوان مثال برای افزایش فشار تا ۱۵۰۰psia می‌توان از یک کمپرسور ۴ مرحله‌ای با نسبت تراکم ۳/۲ استفاده نمود. در این کمپرسور در مرحله اول؛ فشارگاز ورودی با مشخصه ۱۴/۷ psia تا ۴۷/۰۴ psia افزایش می‌یابد. در مرحله دوم فشارگاز به ۱۵۰/۵۲۸ psia می‌رسد و در مرحله سوم فشار گاز به ۴۸۱/۶۸۹ psia افزایش یافته و در نهایت فشار گاز در مرحله چهارم به ۱۵۴۱/۴۰۷ psia خواهد رسید.



شکل ۳: انواع پروانه

۳» پدیده موجدارشدن Surge

بـه شـکل ۴ توجه نمایید، مشـاهده می کنید کـه حداقل دبی در شـکل دارای محدودیت می‌باشـد. یعنی اینکه کمپرسـور نمی‌تواند با دبی کمتراز این مقدار کار نمایـد و درصـورت کاهش دبـی از این مـرز، سیسـتم ناپایدار می‌شـود و پدیده موجدارشـدن (Surge) روی می‌دهد. اولین علامت مشـخصه ایـن پدیده بروز یک حالت رفت و برگشت در جریان گاز در کمپرسور می‌باشد که با سر و صدای زیادی توأم می‌باشد. این حالت باعث نوسانات شدیدی شده و دمای گاز نیز افزایش می‌یابد. بدیهی اسـت تحت این نوسانات، فشار شدید و باراضافی به یاطاقان‌های بار محوری (Thrust Bearing) و سـایر اجزاء کمپرسور وارد می‌آید. بعد از چندین بار(بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ بار) Surge ، یاطاقان اشاره شده و برخی اجزاء دیگر آسیب خواهند دید.

کمپرسورهایی که در سرعت کمتر از ۳۰۰۰ دوردردقیقه کار می کنند، نسبت به این پدیده کمتر حساسـیت دارند و تقریباً ایمن هسـتند، اما کمپرسورهای با سرعت بیـش از ۱۰،۰۰۰ دور در دقیقه نسـبت به این پدیده کاملاً حسـاس بـوده و با ایجاد شـرایط در معرض این پدیده قرار می گیرند. در فرایندها و تا حدی در خطوط انتقال ثابت بودن فشـار خروجی کمپرسور دارای اهمیت می‌باشد. اگر وزن مخصوص گاز ورودی به صورت ناگهانی تغییر کند، کمپرسور مجبور است ارتفاع پولی‌تروپیک را افزایش دهد. در یک سرعت ثابت برای دست‌یابی به این هدف باید دبی گاز ورودی کاهش یابد، یعنی به محدوده Surge نزدیک شویم. دلایل اصلی بروز پدیده Surge در کمپرسورهای گریز از مرکز را می‌توانیم به صورت زیر دسته‌بندی کنیم.

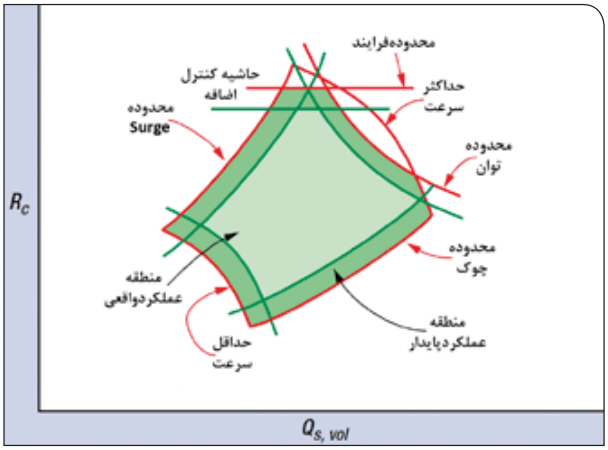
- تغییر وزن مخصوص گاز ورودی(تغییر ترکیب گاز، تغییر دما)
- کاهش سرعت چرخش پروانه(در سیستم‌های الکتروموتوری)
- گرفتگی در مجاری جریان گاز
- سایش پروانه و پوسته کمپرسور
- کاهش دبی در اثر لزوم افزایش فشار در خروجی

همچنیـن می‌دانیم در منحنی کار کمپرسـور محدوده دبـی زیاد(حجم زیاد گاز) به صورت عمودی و صخره‌سـنگی (Stonewall) می‌باشـد و کارکردن توربین در آن محـدوده پایدار نبوده و توصیه نمی‌شـود. در این ناحیه از عملکرد کمپرسـور زاویه تلاقی گاز به دلیل سـرعت زیاد گاز آنچنان زیاد می‌شـود که باعث کاهش مجرای ورودی گاز می‌شـود و پدیده Chock روی می‌دهد. بـروز این پدیده باعث کاهش شدید دبی گاز ورودی به سیستم می‌شود و درنتیجه پدیده Surge نیز روی دهد.

پدیده Surge در مجموع می‌تواند باعث فرسایش و خرابی زودهنگام یاطاقان‌ها، آسـیب دیدن سیسـتم آب‌بندی، افزایش دمای گاز و بدنه کمپرسـور، آسیب دیدن سیستم راه‌انداز و گیربکس و در نهایت بروز سر و صدای زیاد و آزاردهنده شود. این موضوع نیز حایز اهمیت اسـت که نزدیک شدن نقطه کار کمپرسور به ناحیه Surge باعـث کاهش دبی و درنتیجه افت بازده کمپرسـور نیز می‌شـود. در نتیجه مونیتور و کنترل نمودن نقطه کار کمپرسـور علاوه بر محافظت کمپرسـور از آسیب، در ثابت نگه داشـتن بازده و دبی کمپرسـور نیز موثر می‌باشد. برای دسـتیابی به این هدف از سیسـتم کنتـرل ویـژه‌ای بـه نـام Anti-Surge Control اسـتفاده می کننـد. برخی شرکت‌های سازنده کمپرسور، این سیستم را نیز ارائه می کنند.

۴» سیستم Anti-Surge

پدیده Surge تا حد زیادی به پدیده Minimum flow در پمپ‌ها شـباهت دارد. در آنجا با برگشـت بخشـی(Recycle) از جریان خروجی به ورودی، سعی می کنند هیچـگاه مقدار دبی ورودی از حد مجاز کمتر نشـود. در اینجـا نیز یکی از راه‌های کنترل Surge، کنترل دبی ورودی با چرخش جریان همانند شـکل ۶ می‌باشـد. راه دیگر، تخلیه فشـار در خروجی از طریق Vent کردن می‌باشـد. این روش فقط برای



شکل ۴: محدوده‌های عملکرد کمپرسور

فرایندهایی مثل فشرده‌سازی، انتقال هوا یا سایرگازهای بی‌خطر امکانپذیر می‌باشد. از نـکات مهمـی که در طراحی این نوع سیسـتم اهمیت دارد سـرعت وقوع پدیده Surge می‌باشـد. قبل از دسـتیابی به فناوری سـاخت تجهیزات ابزاردقیق و سیسـتم کنترل با سرعت پاسخ بالا، این سرعت مشکل اصلی در طراحی و ساخت سیستم‌های Anti-Surge محسـوب می گردیـد. امـا همزمـان با پیشـرفت در فناوری سـاخت کمپرسورهای سـرعت بالا، در بخش کنترل نیز امکان سـاخت تجهیزات با سرعت عملکرد بالا امکانپذیر گردید. در مجموع مسئله Surge در کمپرسورها، پیچیده‌تر از مشـکل مشابه در پمپ‌ها می‌باشـد. به دلیل خسارت‌های سـنگینی که این مسئله به کمپرسور و تجهیزات مرتبط با آن وارد می‌آورد، کمپرسورهای گریزازمرکز را برای اجتناب از مشـکلات یاد شـده و همچنین برای اطمینان از عملکرد صحیح به سیستم Anti-Surge مجهز می‌نمایند. این سیستم از ۳ بخش زیر تشکیل شده است.

۱- سیسـتم اندازه‌گیری دما و فشـار خروجی کمپرسور و انتقال آن به قسمت سیستم کنترل کمپرسور

شکل ۵: یک نمونه از Anti-Surge valve

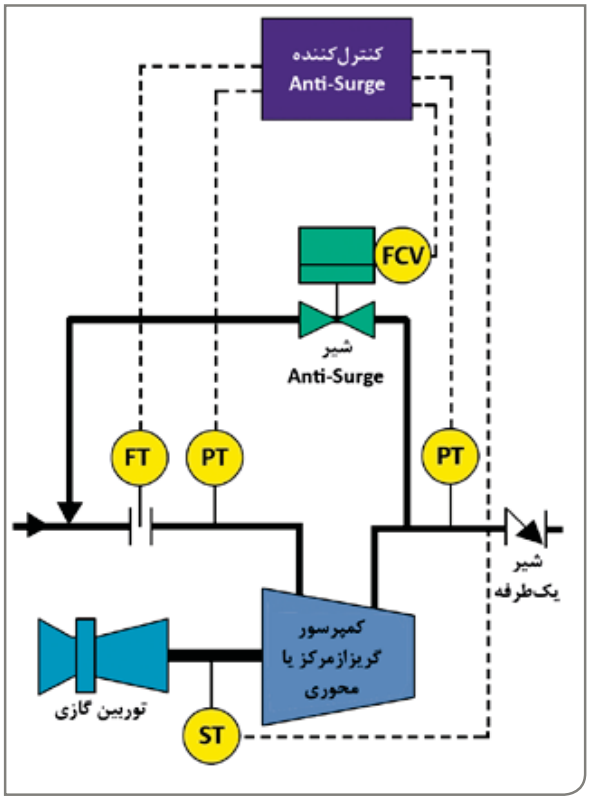
۲- سیستم کنترل، در بخش سیستم کنترل معادله ریاضی منحنی موجدار شدن (Surge curve) کمپرسور نصب شده و سیستم کنترل همواره نظارت می کند تا نقطه کار از مرز Surge فاصله کافی داشته‌باشد. به محض نزدیک شدن نقطه کار به مرز اشاره شده، سیستم کنترل، فرامین لازم جهت دورکردن نقطه کار را از این مرز به تجهیزات کنترلی نصب شده ارسال می کند.

۳- تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری نظیر شیر و تجهیزات ابزاردقیق

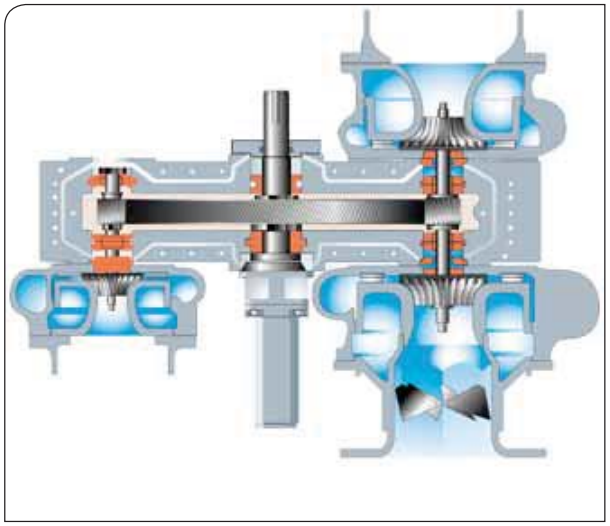
در سیستم‌هایی که از چندین کمپرسور استفاده می‌نمایند، محافظت از هر کمپرسور توسط یک سیستم کنترل کننده Anti-surge اختصاصی که برای هر کمپرسور طراحی شده است، انجام می شود. درجریان با شدت پایین Anti-surge Valve و سیستم کنترل Anti-surge از کمپرسورها در برابر صدمات احتمالی محافظت می کند. سیستم Anti-surge ، گاز با فشار بالا را بعد ازکولرهای هوایی گرفته و به Drum ورودی ارسال می کند. گاز برگشتی را می‌توان سرد نمود، در این حال به سیستم Cold bypass می گویند. در صورت سرد نکردن گاز به سیستم Hot bypass گفته می‌شود. البته باید دقت نمود که در صورت وجود فاصله مناسب، لوله bypass نقش مبدل حرارتی را ایفا خواهد کرد.

۵» نیروی محرکه Prime mover

از نظر عملی، نیروی محرکه موردنیاز کمپرسور می‌تواند توسط الکتروموتور، موتورهای دیزلی، موتورهای گازی، توربین گازی و حتی توربین بخار تامین گردد. علیرغم این گستردگی، اما از نظر اقتصادی و سایر پارامترهای مهم عملیاتی، غالباً تعداد انتخاب‌ها به گزینه‌های کمتری محدود می‌شود. به دلیل وجود سوخت گاز در نزدیکی کمپرسور، اولین انتخاب موتور یا توربین گازی می‌باشد. این استدلال و محاسبات مرتبط با آن باعث گردیده بیشتر برای تامین نیروی محرکه کمپرسورهای گریزازمرکز ابتدای خط انتقال یا ایستگاه‌های تقویت فشار از توربین‌های گازی



شکل ۶: یک سیستم نمونه Anti-Surge



شکل ۷: کمپرسور ۳ مرحله‌ای

استفاده شود. استفاده از موتورهای گازی برای تامین نیروی محرکه کمپرسورهای رفت و برگشتی مورد استفاده در فرایند، نسبت به توربین‌های گازی ترجیح دارند، زیرا که توربین‌ها از نظر دفعات راه‌اندازی و همچنین سرعت متغییر محدودیت دارند. بازده بسیارخوب، امکان راه‌اندازی متعدد و آسان و همچنین امکان سرعت متغیر در الکتروموتورها باعث گردیده که این نوع نیروی محرکه همواره به عنوان رقیب جدی موتور و توربین‌های گازی مطرح باشد. باید به این نکته دقت نمودکه برق تولید شده از منبع توربین گازی در یک سیکل ترکیبی، بازده کلی استفاده از سوخت را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. به هرحال انتخاب یک Prime mover مناسب برای هر پروژه، تابع بررسی‌های اقتصادی و فنی خاص هر پروژه می‌باشد. در طراحی سیستم کمپرسور و نیروی محرکه مربوط به ارسال CNG خروجی به خط انتقال مهمترین پارامتر، کارکرد بدون وقفه و قابل اعتماد می‌باشد، زیرا توقف حتی کوتاه مدت تاثیر نامطلوبی بر پالایشگاه بر جای می گذارد. علاوه بر کمپرسور و نیروی محرکه در سال‌های اخیر فناوری مربوط به تجهیزات واسط نظیر گیربکس، شفت و آب‌بندی نیز به خوبی توسعه پیداکرده است، به عنوان مثال بیرینگ‌های مغناطیسی باعث گردیده‌اند تا میزان تلفات به حداقل برسد و بازه نهایی بیشتر شود.

۶» آرایش موازی

در شکل ۷ یک دستگاه کمپرسور دارای گیربکس ۳ مرحله‌ای را مشاهده می‌نمایید. به دلیل وجود تقارن این کمپرسور دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. شکل دیگری از افزایش طبقات در کمپرسورها، اضافه‌کردن محوری طبقات می‌باشد. این طبقات عموماً به صورت سری به یکدیگر متصل می‌شوند، ضمن آنکه طراحی اتصال موازی نیز امکانپذیر می‌باشد.

باید دقت نمود که منظور از آرایش موازی، موضوع دیگری است. منظور از آرایش موازی، استفاده به تعداد مورد نیاز کمپرسور به صورت سیستم‌های کاملاً مستقل با نیروی محرکه‌های مستقل در کنار یکدیگر می‌باشد. بخش مکش این کمپرسورها مشترک می‌باشد و بخش خروجی آنها نیز با هم در یک هدر مشترک قرار می گیرد. حسن این آرایش، کاهش بار بر روی هر کمپرسور و عملکرد جایگزین (Redundant) آنها می‌باشد. این آرایش اطمینان بهره‌بردار را نسبت به عملکرد مطمئن سیستم جلب می‌نماید. سفیر اید